

土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响

陈晓远¹, 罗远培²

(¹中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094; ²中国农业科学院农业气象研究所, 北京 100081)

摘要: 以冬小麦为材料, 研究了土壤水分变动条件下作物的生长动态。结果表明, 水分胁迫使作物的最大生长阶段开始时间提前, 最大生长阶段延长, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率减小, 因而使干物质积累速度降低, 生长变慢。复水使最大生长阶段开始时间推后, 最大生长阶段缩短, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率增大, 因而使干物质积累速度提高, 生长加快。中度水分亏缺后于拔节期复水的处理, 可以使生长显著加快, 干物质积累速度显著提高, 生物量和产量接近一直保持充分供水的对照。

关键词: 冬小麦; 土壤水分; 生长动态

中图分类号: S512.101 文献标识码: A 文章编号: 0578-1752(2001)04-0403-07

The Influence of Fluctuated Soil Moisture on Growth Dynamic of Winter Wheat

CHEN Xiao-yuan¹, LUO Yuan-pe²

(¹ Institute of Resources and Environments, China Agricultural University, Beijing 100094;

² Agrometeorology Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: Glasshouse and laboratory tests were carried out in 1996~1998 using winter wheat cultivars Beining 6 as materials. The growth dynamics of the whole-wheat plant were analysed under constant and fluctuated soil water condition. The results showed that water stress made the starting time of crop greatest growth phase in advance, prolonged greatest growth phase, decreased the greatest growth rate, and as a result, the rate of dry matter accumulation was reduced and crop growth slowed down. Rewatering delayed the starting time of crop greatest growth phase, shortened greatest growth phase, increased the greatest growth rate, thus, the rate of dry matter accumulation had been boosted and crop growth quickened. Growth rate, dry matter weight and grains yield of wheat were almost equal to the well-watered controls if they were rewatered in the condition of moderate water stress during the jointing stage.

Key words: Winter wheat; Soil moisture; Growth dynamics

作物生长对土壤水分条件的适应性反应是一个十分复杂的问题, 国内外学者为此开展了大量的工作。许多试验表明, 作物对水分胁迫-复水这样的变水条件的响应方式是, 在胁迫解除后存在快速生长^[1], 以部分弥补胁迫造成的损失^[2-5], 并且认为这是对环 境变化的一种适应, 适应的结果体现在植物高度、叶面积、生物量、恢复生长的速率等方面的变化上^[6]。另一方面, 同样明确的实验^[7]还证明, 水分

胁迫解除后作物形态和生长速率的变化并不是马上发生的, 而是在一周左右才能显著观察出来, 即干旱对作物生长有滞后作用, 复水后的生长表现是滞后事件的恢复或补偿^[8]。说明在土壤水分变动环境(缺水和适宜水分交替)下, 作物整体(单株)的生长动态(生长速率、时间、物质积累等)发生了变化^[9]。按照以上思路, 本文在前人工作的基础上, 以分析冬小麦单株的生长速率和生长时间这两个可反映作物整体

收稿日期: 2000-04-28

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999011709)和国家自然科学基金资助项目(49971042)

作者简介: 陈晓远(1968-), 男, 内蒙古丰镇人, 副教授, 博士, 主要从事作物和水关系方面的研究。现通讯地址: 中国农业科学院农业气象研究所资源信息室, 北京 100081。Tel: 010-68919764; E-mail: xychen@mail.caas.net.cn

生长行为的指标为主线,结合植株叶面积、干物重及产量的变化动态,探讨土壤水分变动条件下作物在整体上的响应规律。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本文所使用的数据是1996~1998年在中国农业大学科学园温室测得的,土壤类型为草甸褐土,供试品种为北农6号,采用管栽方法。管子材料为灰色PVC硬塑,管内径10cm,长100cm。每管施磷酸二氢铵3g,将肥料和土壤混匀后按容重 1.325m g/m^3 装管。为防止根系盘结,底部装有约5cm厚的砂土。精选种子,在冰箱内春化后播种,长到三叶一心(DAP10, DAP指播种后天数)时定苗。按大田播种密度折算,每管定苗4株,此时分别以土壤实际含水量占最大毛管持水量的75%~85%(充分供水)、55%~65%(中度胁迫)、35%~45%(重度胁迫)3个水平开始控制土壤水分,分蘖期(DAP29)、拔节期(DAP36)、开花期(DAP57)和灌浆期(DAP64)时复水,复水时间均为8d,并以全生育期一直保持恒定水分的处理作为试验的对照。控水方法为,每隔1d用感量为0.1g的德国产PE-24型电子台称对管子称重一次,低于灌水下限的补水到上限。从管子上部加水。

本试验共设置11个处理,每个处理重复3次。A、B、C为水分相对恒定处理,其中A(75%~85%)为充分供水,作为试验的湿润对照;B(55%~65%)为中度缺水,作为试验的中度干旱对照;C(35%~45%)为重度缺水,作为试验的重度干旱对照。B-A1、B-A2、B-A3、B-A4分别为在分蘖期、拔节期、开花期、灌浆期从B水分复水至A水分的处理;C-A1、C-A2、C-A3、C-A4分别为在分蘖期、拔节期、开花期、灌浆期从C水分复水至A水分的处理。

1.2 测定方法

分别在三叶期(DAP11)、分蘖期(DAP30)、拔节期(DAP37)、孕穗期(DAP44)、抽穗期(DAP51)、开花期(DAP58)、灌浆期(在DAP65、DAP72和DAP79各取一次样)和收获期(DAP92)取样,每次3个重复。取样方法为,先将长有小麦的土柱从管子中取出,然后放入水池中浸泡,直至土柱变得松散,然后用水冲洗根系,最后从水中取出完整的植株,将根和冠从茎基部分开,以备进一步量测。

植株干重采用烘干法。叶面积为量取样本植株每片完全展开叶的完整的绿色叶片的长度和最大宽

度,然后采用叶面积拟合公式进行计算。

1.3 反应作物生长动态的参数求算

作物干物重(M)的相对增长率是干物重M的线性减少函数,即

$$\frac{1}{M} \frac{dM}{dt} = f(M)$$

$f(M) = b - rM$ b为作物的内禀增长率,由作物的遗传因素决定。

$$\text{令: } r = b/K$$

$$\text{则有 } \frac{dM}{dt} = b \frac{M}{K} (K - M) \quad (1)$$

对方程积分,可得

$$M = \frac{K}{1 + e^{a - bt}} \quad (2)$$

由(1)式,令 $\frac{dM}{dt} = 0$ 可得M的极值

$$M_1 = 0, M_2 = K$$

K为干物质积累的理论上限,如果环境条件适宜,作物总干物质的最终累积量将接近于K。K可由如下方法^[9]求得:在时间序列中取等距离的3点 t_1, t_2, t_3 ,其对应的干物质产量为 x_1, x_2, x_3 ,则

$$K = \frac{x_2^2(x_1 + x_3) - 2x_1x_2x_3}{x_2^2 - x_1x_3}$$

a为积分常数,只取决于初值M和K值。

$\frac{dM}{dt}$ 为作物生长速率CGR,对CGR求导,可得CGR随时间的变化,并可求得

$$M_1 = 0, M_2 = K, M_3 = \frac{K}{2} \quad 3 \text{ 个极点,}$$

对应时间分别为

$$t_{1,2} = \pm \infty, t_0 = \frac{a}{b}$$

t_0 处为CGR的极大值,即M的最大生长点,此时, $M = K/2$,之后CGR迅速下降。

再令M的三阶导数等于0,可得M的最大生长阶段(t_1, t_2)。 t_1, t_2 分别代表生长曲线上的两个突变点。在 t_1 与 t_2 之间,作物总干物重与时间基本呈直线关系,

$$\text{其中 } t_1 = \frac{a - \ln(2 + \frac{3}{b})}{b}$$

$$t_2 = \frac{a - \ln(2 - \frac{3}{b})}{b}$$

其中心为最大生长点 t_0 ,在 t_1 到 t_0 期间(一般10d左右),生长速度几乎呈直线上升,在 t_0 到 t_2 后(一般10d左右),生长速度几乎呈直线下降。

在(t_1, t_2)内积分后可求得最大生长阶段内的平均增长率:

$$\overline{\text{CGR}} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \text{CGR} dt = \frac{1}{t_2 - t_1} \frac{K}{3}$$

最大生长点处的最大生长率:

$$CGR_m = CGR|_{t_0} = \frac{bK}{4}$$

2 结果与分析

2.1 恒定土壤水分条件下冬小麦的生长动态

由表 1 中数据显示, A、B、C 3 种恒定水分条件下作物的最大生长点(t_0), 都出现在 DAP42, 即孕穗期, 最大生长阶段($t_1 - t_2$) 基本在分蘖期(t_1) 和开花期(t_2) 之间, 不同处理间略有区别。一直保持充分供水的对照 A, 最大生长阶段开始时间为 DAP31.55, 最大生长阶段为 20.9d, 最大生长率(CGR_m) 为 0.2458 g/d, 最大生长阶段内的平均生长率(CGR) 为 0.2155 g/d; 一直保持中度水分胁迫的对照 B, 最大生长阶段开始时间比 A 提早 1.68d, 最大生长阶段比 A 多 3.7d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率降低到 A 的 41.5%; 一直保持重度水分胁迫的对照 C, 最大生长阶段开始时间比 A 提早 5.4d, 最大生长阶段比 A 多 10.8d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率只及 A 的 11.1%。从植株的干物质积累和叶面积扩展动态看, B、C 的最终干物重和最大叶面积也分别只有 A 的 52.48%、60.58% 和 13.34%、11.67% (图 1)。

由此可见, 水分胁迫使植株的最大生长阶段开始时间提前, 最大生长阶段延长, 最大生长率和最大

生长阶段内的平均生长率减小, 因而使干物质积累速度和叶面积扩展速度降低, 生长变慢。作物为了适应环境求得生存, 不得不在结构上作出调整——减少干物质积累量和叶面积, 促进光合产物向籽粒的调运, 增大收获指数(表 1), 使结构和功能维持均衡。

2.2 拔节期复水对冬小麦生长动态的影响

拔节期复水后, B-A2 的最大生长阶段开始时间推迟到 DAP31.51, 与 A 近似, 比 B 晚 1.64d, 最大生长阶段变为 20.98d, 接近于 A, 比 B 缩短了 3.28d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率比 B 提高了 134.8%; C-A2 的最大生长阶段开始时间推迟到 DAP29.01, 比 C 晚 2.86d, 最大生长阶段变为 25.98d, 比 C 缩短了 5.72d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率分别比 C 提高了 158.6% 和 157.9%。同时, B-A2 的最终干物重和最大叶面积分别比 B 提高了 98.38% 和 72.71%, 产量比 B 增加 25.72%, 接近于 A, 收获指数则比 B 降低了 39.19%; C-A2 的最终干物重和最大叶面积分别比 C 提高了 204.64% 和 393.19%, 产量比 C 增加 107.59%, 收获指数亦比 C 降低了 23.25% (图 1, 表 1), 说明拔节期复水对小麦营养生长的促进比对生殖生长的促进作用更强。

表 1 恒定土壤水分及拔节期复水条件下冬小麦的生长动态参数与产量

Table 1 The growth dynamic parameters and grains yield of winter wheat under constant water and rewatered condition during the jointing stage

参数 ¹⁾	Parameters	A	B	C	B-A2	C-A2	C-B2
K (g)		7.7970	3.7614	1.3155	7.6353	2.7855	2.2051
b		0.1261	0.1086	0.0831	0.1256	0.1014	0.0957
M ₀ (g)		0.0389	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389
a		5.2952	4.5609	3.4907	5.2742	4.2568	4.0194
t ₀ (d)		42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00
t ₁ (d)		31.55	29.87	26.15	31.51	29.01	28.24
t ₂ (d)		52.45	54.13	57.85	52.49	54.99	55.76
CGR _m (g/d)		0.2458	0.1021	0.0273	0.2397	0.0706	0.0528
CGR(g/d)		0.2155	0.0895	0.0240	0.2102	0.0619	0.0463
籽粒产量(kg/ha)		6520.33	4841.24	1539.08	6086.30	3195.02	2651.01
Grains yield							
收获指数(%)		25.85	38.07	45.72	23.15	35.09	34.46
Harvest index							

¹⁾ K、a、b 的拟合精度为 95%, 下同 The fitting precision of K、a、b is 95%. The same as below

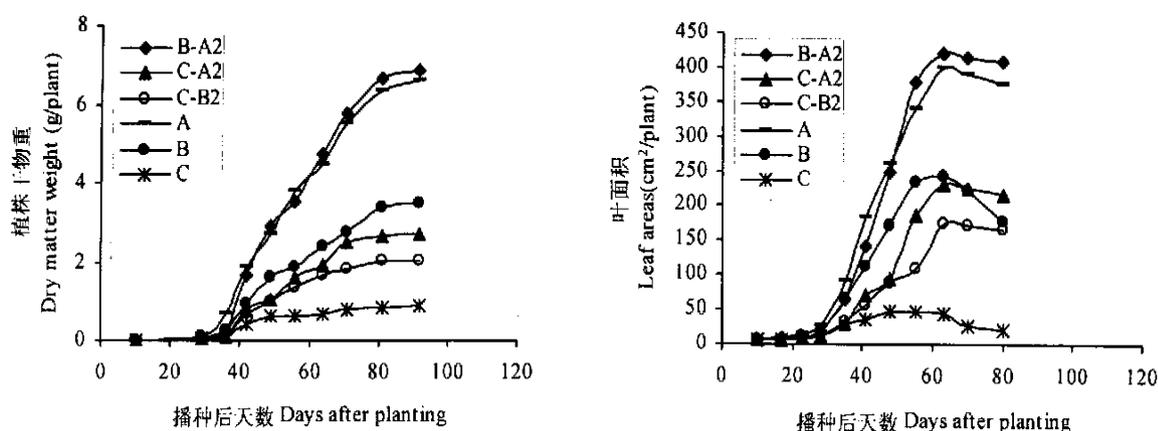


图1 恒定土壤水分及拔节期复水条件下冬小麦植株干物质积累及叶面积变化动态

Fig.1 Dry matter accumulation and leaf areas dynamic under constant and rewiring condition during jointing stage

以上分析说明, 拔节期复水使作物的最大生长阶段开始时间推后, 最大生长阶段缩短, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率增大, 生长加快^[8,10], 干物质积累量和叶面积增加, 植株结构改善^[3], 其完成每一发育阶段, 产生新一代的功能加强, 产量提高。因而使作物在整体上把不同程度欠缺的水分条件, 与它已经获得的相对稳定的具有一定适应性的生长发育控制和水分利用方式较好地匹配起来。

2.3 分蘖期复水对冬小麦生长动态的影响

分蘖期复水后, B-A1 的最大生长阶段开始时间比 B 推迟了 1.08d, 最大生长阶段比 B 缩短了 2.16d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率分别比 B 提高了 70.3% 和 70.4%; C-A1 的最大生

长阶段开始时间比 C 推迟了 3.04d, 最大生长阶段比 C 缩短了 6.07d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率比 C 提高了 178% 和 177%。各复水处理的干物质积累、籽粒产量和叶面积也都相应地增加, 并超过其各自的对照(图 2, 表 2)。可见, 分蘖期复水也使最大生长阶段开始时间推迟, 最大生长阶段缩短, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率增大, 生长加快。但是, 由于分蘖期复水处理的最大生长阶段开始时间比拔节期复水处理的早, 最大生长阶段比拔节期复水处理的长, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率比拔节期复水处理的小, 因而分蘖期复水的处理要比拔节期复水的处理生长慢, 表现在干物质积累量、叶面积和产量上也比拔节期复水的处理少。

表 2 分蘖期复水处理及对照的生长动态参数与产量

Table 2 The growth dynamic parameters and grains yield of winter wheat rewatered during the tillering stage

参数 Parameters	B-A1	C-A1	C-B1	A	B	C
K (g)	5.8384	2.9536	1.8180	7.7970	3.7614	1.3155
b	0.1191	0.1028	0.0910	0.1261	0.1086	0.0831
M ₀ (g)	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389
a	5.0043	4.3162	3.8226	5.2952	4.5609	3.4907
t ₀ (d)	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00	42.00
t ₁ (d)	30.95	29.19	27.53	31.55	29.87	26.15
t ₂ (d)	53.05	54.81	56.47	52.45	54.13	57.85
CGR _m (g/d)	0.1739	0.0759	0.0414	0.2458	0.1021	0.0273
CGR(g/d)	0.1525	0.0665	0.0363	0.2155	0.0895	0.0240
籽粒产量 Grains yield(kg/ha)	5342.03	3130.02	2411.01	6520.33	4841.24	1539.08
收获指数 Harvest index(%)	32.53	34.73	40.19	25.85	38.07	45.72

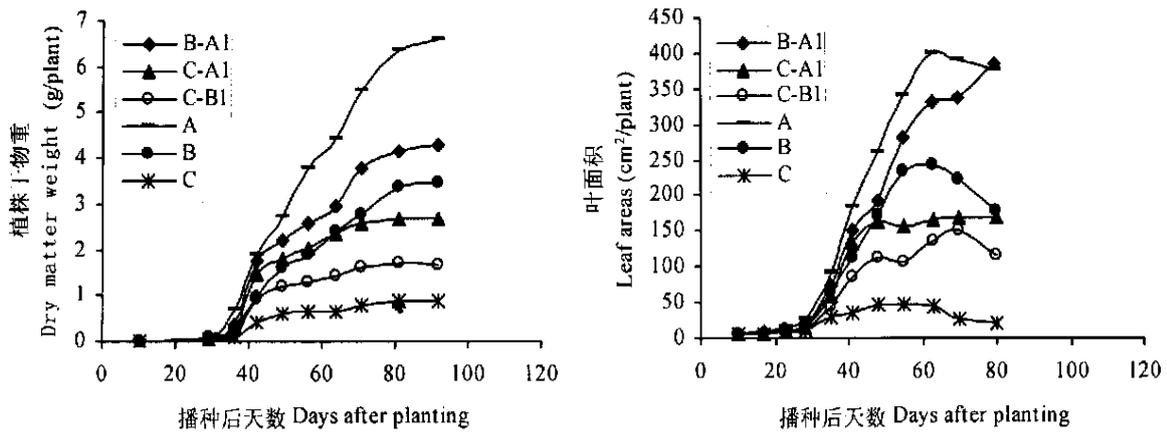


图 2 分蘖期复水条件下冬小麦植株干物质积累及叶面积变化动态

Fig. 2 Dry matter accumulation and leaf areas dynamic under rewatering condition during tillering stage

2.4 开花期复水对冬小麦生长动态的影响

开花期复水后, B-A3 最大的特点是最大生长阶段开始时间和结束时间都显著地推后。开始时间为 DAP36.53, 比 B 晚 6.66d, 比 A 也晚 4.98d, 结束时间为 DAP61.47, 比 B 晚 7.34d, 比 C 晚 3.62d。为什么会出现这种现象呢? 因为 B-A3 处理与 B-A2 和 B-A1 处理相比, 前期受旱时间长, 干物质积累速度低, 生长很慢, 开花期复水后, 生长受到激发, 但复水对生长的激发作用不能迅速体现出来, 而是存在滞后, 即复水一段时间后, 生长才能加快, 因此, 最大生长阶段开始时间就要推后, 又由于复水时间晚 (DAP56), 故受复水后效应的影响, 最大生长阶段结束时间必然也晚。前面已经提到, 拔节期复水和分蘖期复水的最大生长阶段开始时间都比其对照推迟, 因而也存在生长恢复的滞后, 只是滞后时间比开花期复水处理的短。由此看来, 作物前期受旱时间愈长, 复水后生长恢复的滞后时间也愈长。

B-A3 的最大生长阶段与 B 接近, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率比 B 提高了 79.0% 和 79.1%。因此, 尽管 B-A3 的最大生长阶段与 B 近似, 但由于其最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率 (大于 B-A1 而小于 B-A2) 大于 B, 所以干物质累积、叶面积 (图略) 和产量 (表 3) 都超过了 B。同时, B-A3 的生长速率大于 B-A1 而小于 B-A2, 故干物质累积量和产量也介于二者之间。

C-A3 的最大生长阶段开始时间比 C 晚 1.54d, 最大生长阶段结束时间比 C 早 1.54d, 最大生长阶段比 C 少 3.08d, 比 C-A1 多 3d, 最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率比 C 提高 59.7% 和 59.2%, 但小于 C-A1, 故此, C-A3 的干物质累积量和产量比 C-A1 低。但是, 为什么 C-A3 生长恢复的滞后时间比 B-A3 的滞后时间短呢? 可能是因为 C-A3 是重度水分胁迫后开花期复水, 由于受旱重, 复水后作物响应快, 故滞后时间短。

表 3 开花期复水处理及对照的生长动态参数与产量

Table 3 The growth dynamic parameters and grains yield of winter wheat rewatered during the flowering stage

参数 Parameters	B-A3	C-A3	A	B	C
K (g)	6.9220	1.8940	7.7970	3.7614	1.3155
b	0.1056	0.0920	0.1261	0.1086	0.0831
M ₀ (g)	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389
a	5.1755	3.8644	5.2952	4.5609	3.4907
t ₀ (d)	49.00	42.00	42.00	42.00	42.00
t ₁ (d)	36.53	27.69	31.55	29.87	26.15
t ₂ (d)	61.47	56.31	52.45	54.13	57.85
CGR _m (g/d)	0.1828	0.0436	0.2458	0.1021	0.0273
CGR(g/d)	0.1603	0.0382	0.2155	0.0895	0.0240
籽粒产量(kg/ha) Grains yield	5520.28	2926.15	6520.33	4841.24	1539.08
收获指数(%) Harvest index	30.69	44.32	25.85	38.07	45.72

2.5 灌浆期复水对冬小麦生长动态的影响

B-A4 的最大生长阶段为 24.96d, 与 B-A3 几乎相同, 但最大生长率和最大生长阶段内的平均生长率则比 B 提高了 65.2% 和 65.1% (小于 B-A3 和 B-A1), 因此 B-A4 的干物重和产量(表 4)也超过了 B

(但小于 B-A1), 表明中度水分胁迫后灌浆期复水, 对作物的生长和产量形成仍有促进作用。C-A4 的 4 个生长参数都与 C 十分接近, 故重度水分胁迫后于灌浆期恢复供水, 作物生长的改善不明显。

表 4 灌浆期复水处理及对照的生长动态参数与产量

Table 4 The growth dynamic parameters and grains yield of winter wheat rewatered during the filling stage

参数 Parameters	B-A4	C-A4	A	B	C
K (g)	6.8871	1.3413	7.7970	3.7614	1.3155
b	0.1055	0.0836	0.1261	0.1086	0.0831
M_0 (g)	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389	0.0389
a	5.1705	3.5107	5.2952	4.5609	3.4907
t_0 (d)	49.00	42.00	42.00	42.00	42.00
t_1 (d)	36.52	26.24	31.55	29.87	26.15
t_2 (d)	61.48	57.76	52.45	54.13	57.85
CGR_m (g/d)	0.1687	0.0280	0.2458	0.1021	0.0273
\overline{CGR} (g/d)	0.1478	0.0246	0.2155	0.0895	0.0240
籽粒产量 (kg/ha) Grains yield	5054.03	2605.01	6520.33	4841.24	1539.08
收获指数 (%) Harvest index	30.64	53.15	25.85	38.07	45.72

3 讨论与结论

综合以上分析可以看出, 在作物全生育期内的生长过程中, 受旱作物无论是生长速率还是干物质累积量均显著低于一直处于较好供水下的作物, 即干旱对作物生长有滞后效应。作物前期受旱时间愈长, 滞后时间也愈长, 表现在开花期和灌浆期复水处理的滞后时间长, 分蘖期和拔节期复水处理的滞后时间短。另一方面, 在分蘖、拔节、开花、灌浆任一生长阶段, 无论何种程度缺水的作物只要不同程度地增加供水, 其生长速率及干物质积累均受到促进, 大大超过其相应的对照作物, 即复水对作物生长有激发效应。中度水分亏缺后于拔节期复水的处理, 可以使生长显著加快, 并且在生长速度、干物质累积、叶面积和最终产量上接近一直保持充分供水的对照。

受旱作物在补充供水后激发生长的事实说明, 在这种水分条件下(胁迫-复水), 作物的干物质积累不仅与其现在的生物量 $W(t)$ 有关, 而且其实际增殖率 $\{W(t)[1 - W(t - \tau)]/K\}$ 相当于该作物一直处于较优供水条件下时, 在过去某一时刻 $(t - \tau)$ 的实际增殖率 (τ 为滞后时间)。由于实际增殖率在数量上是时间的单调不增函数, 因此, 作物在复水后的实际增殖率必然大于复水前的实际增殖率, 于是就会激发受旱作物的干物质积累速度, 使生长加快。即缺水对作物生长造成的滞后效应, 在恢复供水后, 成为作物进行快速生长的驱动因素, 形成作物受旱阶段

的生长滞后与复水后快速生长间的反馈调节机制。其调节能力的度量是滞后时间 τ 。

作物生长既受遗传因素的影响, 又受环境条件的制约。当外界环境条件发生变化时, 作物将通过其结构的变化和功能的调节而作出响应。因此, 土壤水分变动条件下, 作物的生长动态可视为水分因素对作物作用后, 经过体内许多基本变化过程及自适应、自组织后最终所表现出的综合效应, 具有整体性的变化规律。

References:

- [1] Acevedo E, T C Hsiao, D W Henderson. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water stress [J]. *Plant physiology*, 1971, 48: 631- 636.
- [2] Zhao S L. The physiology and ecology of the spring wheat under arid condition [M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1996: 274- 298. (in Chinese)
赵松林. 春小麦干旱生理生态学 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996: 274- 298.
- [3] Su P, Shan L. Compensatory effects of water recovery during jointing stage on maize threatened by water stress at seeding period [J]. *Plant Physiology Communications*, 1995, 31(5): 341 ~ 344. (in Chinese)
苏佩, 山仑. 拔节期复水对玉米苗期受旱胁迫的补偿效应 [J]. *植物生理学通讯*, 1995, 31(5): 341- 344.
- [4] Turner N C. The benefits of limited water deficits. In: *Proceedings of the International Congress of Plant Physiology* [C]. New Delhi, 1988.
- [5] Wenkert W, E R Lemon, T R Sinclair. Leaf elongation and turgor maintenance at low water potentials in the elongation region of maize leaves [J]. *Agron. J.* 1978, 70: 761- 764.
- [6] Yuan B Z, Wang J, Zhao S L. Study on the mechanism of plant compensating effect [J]. *Journal of Ecology*, 1998, 6(4): 12-

15. (in Chinese)
原保忠, 王 静, 赵松林. 植物补偿作用机制探讨[J]. 生态学杂志, 1998, 6 (4): 12- 15.
- [7] Gallacher A E, J I Sprent. The effect of different water regimes on growth and nodule development of greenhouse grown *Vicia faba*[J]. J. of Experimental Botany, 1978, 29 (109): 413- 423.
- [8] Guo X S. Compensation effect of millet after drought[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(5): 563- 566. (in Chinese)
郭贤仕. 谷子旱后的补偿效应研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 563- 566.
- [9] Luo Y P, Li Y Z. Root-soil system and water and N use efficiency of the crops [M]. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 1996: 111- 113. (in Chinese)
罗远培, 李韵珠. 根土系统与作物水氮资源利用效率[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 111- 113.
- [10] Jin W M. Discuss on law of tritical crops dry matter accumulation[J]. Chinese Journal of Agrometeology, 1993, 14 (2): 4- 6. (in Chinese)
金为民. 麦类作物干物质积累规律探讨[J]. 中国农业气象, 1993, 14(2): 4- 6.

快讯

小麦太谷核不育基因 M_{s2} 易位后被重新定位于 4BS 染色体

Relocalization of M_{s2} , the Taigu Genic Sterility Gene in Wheat, on Chromosome 4BS After Translocation

纪凤高等(1989)以六倍体小黑麦“鉴 45”(AABBRR)对 4DS 携带太谷核不育基因 M_{s2} 的“中国春”太谷核不育小麦不育株杂交, 经幼胚培养获杂种植株, 并以“鉴 45”作轮回父本对杂交后代的不育株回交, 育成了太谷核不育六倍体小黑麦。后又以硬粒小麦(AABB)作轮回父本对上述太谷核不育六倍体小黑麦杂交、回交, 育成了太谷核不育硬粒小麦。由于六倍体小黑麦以及硬粒小麦无 D 染色体组, 表明太谷核不育基因 M_{s2} 已由原所在 4D 染色体短臂易位到了 A 或 B 染色体组中一条未知的染色体上。

M_{s2} 易位后, 经长期研究, 目前尚未被正式指定到 A、B 染色体组中的某一具体的染色体上。我们于 1997 年以纪凤高、刘友华赠送的上述太谷核不育硬粒小麦不育株为易位的 M_{s2} 基因的供体, 用普通小麦品种“渝麦 4 号”(AABBDD)作轮回父本与太谷核不育硬粒小麦不育株杂交、回交, 从而将易位后的 M_{s2} 重新导入了普通小麦染色体组中。其后又以一批携带已知标志基因的普通小麦品种对上述携带易位的 M_{s2} 基因的太谷核不育普通小麦测交。其中 4BS 携带显性矮秆基因 $Rht3$ 的普通小麦品种“渝四 13”作轮回父本与携带易位的 M_{s2} 的六倍体小麦杂交、回交的 F_1B_1 后代的分离群体中出现了一致的高不育株与矮可育株的分离格局。在 23 株 F_1B_1 的回交后代分离群体中, 13 株不育株平均株高 70.3cm。较 10 株矮可育株(平均株高 40.9cm)平均增高 29.4cm。只有一株不育株株高仅 43cm, 落入了矮可育株的株高范围。经 χ^2 测验, 不育与可育以及高不育与矮可育株的分离比例均符合 1: 1 的预期值($\chi^2 = 0.392, n = 1, P > 0.5; \chi^2 = 0.182, n = 1, P > 0.5$)。出现这种分离模式的遗传学实质显

然在于易位后的 M_{s2} 位于显性矮秆基因 $Rht3$ 所在的 4B 染色体上, 因而在 F_1B_1 的回交群体中, $Rht3$ 在可育株中全部处于极度矮化的纯合状态, 而在不育株中除一株以外则全部处于半矮秆的杂合状况。因而本试验实际上已将易位后存在于 AABBRR、AABB, 以及 AABBDD 之中的 M_{s2} 重新定位于 B 染色体组的第 4 连锁群, 即 4B 染色体上。

试验中出现的一株矮不育株“新类型”生长健壮, 它显然是“渝四 13”4B 染色体上的 $Rht3$ 在杂交与回交过程中通过同源染色体间的“交换”与易位于 4B 染色体上的 M_{s2} 建立了连锁关系。这表明易位后的 M_{s2} 与 4B 染色体上的 $Rht3$ 之间的交换值为 $1/23 = 0.043$, 即易位后的 M_{s2} 距离 $Rht3$ 4.3 个遗传图距(因分离群体较小, 正在扩大回交群体来对这一遗传图距加以校准)。由于 4BS 上的 $Rht3$ 距着丝点 15 个遗传图距, 而易位后的 M_{s2} 距 $Rht3$ 4.3 个遗传图距, 因而易位后的 M_{s2} 必然在 $Rht3$ 所在的 4B 染色体短臂之上。为区别于原 4D 染色体上的太谷核不育基因 M_{s2} , 按照普通小麦基因命名的有关规则将由 4DS 易位到 4BS 染色体上的太谷核不育基因 M_{s2} 命名为“ M_{s2} -4BS”, 并报请国际小麦遗传学会备案。

普通小麦染色体组中的功能基因为人为地组间易位后被重新定位的情况比较少见。 M_{s2} -4BS 在易位后被重新定位以及携带 M_{s2} -4BS 的普通小麦的获取具有重要的理论意义与实用价值。

傅大雄, 阮仁武, 张建奎, 戴秀梅

(西南农业大学农学系麦类研究室, 重庆 400716)